

Rec'd PCWPTO 10 JAN 2005

MODULARIO
12.1-12.1

10/520807



PCT/EP 03/07431

Mod. C.E. - 1-4-7

[Handwritten signature]

Ministero delle Attività Produttive
Direzione Generale per lo Sviluppo Produttivo e la Competitività
Ufficio Italiano Brevetti e Marchi
Ufficio G2

19 AGO 2003

MPI PCT

Autenticazione di copia di documenti relativi alla domanda di brevetto per:

Invenzione Industriale

N.
MI2002 A 001526

*Si dichiara che l'unità copia è conforme ai documenti originali
depositati con la domanda di brevetto sopraspecificata, i cui dati
risultano dall'accluso processo verbale di deposito.*

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)



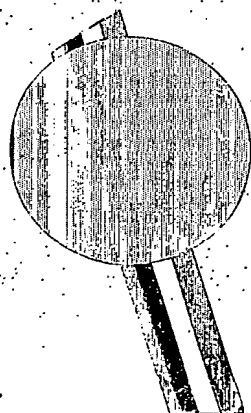
Roma, il

27 GIU. 2003

IL DIRIGENTE

DI CARLO

[Handwritten signature]



BEST AVAILABLE COPY

3601PTIT

PROSPETTO A

RIASSUNTO INVENZIONE CON DISEGNO PRINCIPALE, DESCRIZIONE E RIVENDICAZIONE

NUMERO DOMANDA MI2002A-001526

REG. A

DATA DI DEPOSITO 11/07/2002

NUMERO BREVETTO

DATA DI RILASCIO

A. TITOLO

Iniettore per forni di fusione di materiale metallico

L. RIASSUNTO

Iniettore-bruciatore per applicazioni nel campo della siderurgia, in particolare per processi di fusione in forni ad arco elettrico, avente una testina frontale con due serie di fori disposti su due corone concentriche, la corona più interna di fori destinati ad alimentare un combustibile, quella esterna comburente. E' inoltre presente un foro centrale, provvisto di ugello per l'iniezione di ossigeno. I fori delle due corone sono divisi in più gruppi separati da settori circolari privi di fori, in modo da creare diverse fiamme e sono inclinati da dare ai gas alimentati e conseguentemente alla fiamma generata una rotazione attorno all'asse dell'iniettore-bruciatore.

Gestendo le portate di combustibile e comburente alimentate ai diversi fori, l'iniettore-bruciatore può modulare la forma della fiamma in modalità bruciatore e funzionare anche in modalità di iniezione, garantendo in tutte le modalità rendimenti ottimali.



M. DISEGNO

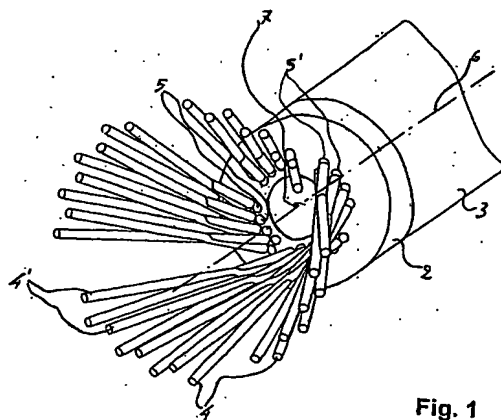


Fig. 1

3601PTIT

Notarbartolo & Gervasi S.p.A.

Descrizione dell'invenzione industriale dal titolo:

"Iniettore per forni di fusione di materiale metallico".

a nome di : DANIELI & C. OFFICINE MECCANICHE S.p.A.

con sede in: BUTTRIO (UD)

inventori designati: VECCHIET Fabio, PAVLICEVIC Milorad, POLONI
Alfredo

* * * * *

MI 2002 A 0 0 1 5 2 6

Campo dell'invenzione

La presente invenzione si riferisce ad un iniettore multifunzione ad ossigeno con bruciatore integrato (per brevità iniettore-bruciatore) per impieghi nel settore della siderurgia per il riscaldamento e trattamento metallurgico o come ausilio ad altri mezzi di riscaldamento e trattamento metallurgico del metallo durante un processo fusorio. L'iniettore-bruciatore può vantaggiosamente, ma non esclusivamente, trovare impiego in forni elettrici ad arco o EAF (electric arc furnace).

Il dispositivo può essere montato fisso a parete al di sopra del livello del bagno di metallo liquido. In talune applicazioni può avere la possibilità di essere anche mosso verso l'interno del forno per ridurre la distanza dal bagno stesso.

È anche descritto un metodo di utilizzo della presente invenzione per la realizzazione di un processo fusorio in un forno elettrico ad arco.

Stato della tecnica

Si conoscono molti sistemi per l'iniezione di ossigeno dalla parete del forno. Molti di tali sistemi sfruttano una fiamma addizionale per la gestione della fase iniziale di riscaldamento e fusione della carica metallica, solita-



mente azionata a gas naturale che ne costituisce il combustibile e con ossigeno che ne costituisce il comburente.

Ciò che si evidenzia come limitazione nello stato dell'arte è che i dispositivi descritti non consentono di variare a piacimento la forma della fiamma nelle diverse fasi del procedimento di fusione.

All'inizio del processo fusorio è infatti necessario disporre di una modalità di fiamma diffusa ed ampia in grado di distribuire in modo uniforme una grande potenza chimica nella carica solida. Successivamente è necessario invece passare ad una modalità di fiamma concentrata che sia in grado di trasferire calore alla carica solida residua presente al di sotto del livello di installazione dell'iniettore.

Non si conosce nello stato della tecnica alcun dispositivo di iniezione in grado di modulare la forma della fiamma tra queste due opposte tipologie. In particolare i forni ad arco elettrico, nella descrizione qui di seguito denominati per brevità anche EAF dall'acronimo dell'inglese Electric Arc Furnace, nei quali si utilizzano gli iniettori della tecnica nota, soffrono di una cattiva distribuzione di calore. Il tipo di bruciatori (e di iniettori in modalità bruciatore) tipicamente utilizzati sugli EAF producono una fiamma concentrata che presenta una miscelazione poco efficiente e ossida la carica nelle fasi iniziali del processo fusorio.

Gli iniettori noti presentano, quando vengono usati in modalità bruciatore, grandi frazioni di ossigeno libero nella fiamma e questa caratteristica, unitamente all'effetto di riscaldamento fortemente localizzato della fiamma sulla carica, fa di essi macchine per ossitagliare la carica metallica, ma non per riscaldarla in modo uniforme. L'ossidazione della carica nelle prime



fasi del processo fusorio determina gravi perdite nel bilancio energetico globale nonché un abbassamento della resa metallica finale.

Per la concentrazione della fiamma prodotta da tali dispositivi si hanno altri svantaggi. Il volume di carica metallica riscaldata rimane limitato, mentre si presenta di frequente il fenomeno della perforazione della carica fino alla zona dell'arco elettrico, disturbando così l'arco e facendo salire i gas combusti lungo l'elettrodo, senza passare attraverso la carica, alla quale non viene ceduto in modo efficiente il calore. Inoltre l'anello di carica metallica alla base della colonna presente nel forno viene preriscaldato in modo discontinuo, con la conseguenza che nel forno debbono essere installati un maggior numero di iniettori.

Oltre a presentare questi limiti in modalità bruciatori, gli iniettori della tecnica nota sono poco efficienti anche nelle modalità di iniezione di ossigeno supersonico, carbone e calce.

L'installazione di questi iniettori sulle pareti dell'EAF, richiede che i getti prodotti dall'iniettore siano coerenti almeno per la distanza fra iniettore e bagno liquido. Questa caratteristica non è soddisfatta dagli iniettori della tecnica nota quando la distanza di installazione dal bagno è superiore ai 750 mm. Come conseguenza le iniezioni di ossigeno, carbone e calce nel bagno liquido e nella scoria risultano poco efficienti, con conseguente allungamento dei tempi di affinazione e sovraccarico termico del volume interno del forno e dell'impianto fumi a causa dei reagenti dispersi al di sopra del bagno.

Non si conoscono dallo stato della tecnica iniettori in grado di iniettare combustibile, quale metano, nella scoria e/o nel bagno fuso al fine di da-



re una reazione di carburazione del bagno e contemporaneamente sviluppare calore e ridurre gli ossidi presenti nella scoria.

Sommario dell'invenzione

E' stato ora sviluppato un nuovo tipo di iniettore-bruciatore, in particolare per applicazione nel campo della metallurgia, più particolarmente per applicazione a forni di fusione come i forni ad arco elettrico.

Lo scopo primario della presente invenzione è quello di superare gli inconvenienti lamentati nella tecnica nota, realizzando un iniettore-bruciatore multifunzione in grado di soddisfare le esigenze del processo in ogni sua fase e di migliorare il bilancio energetico, la produttività e la resa del forno nel quale è utilizzato.

L'iniettore-bruciatore secondo la presente invenzione comprende un corpo cilindrico avente un primo asse, longitudinale, detto corpo cilindrico avente un primo condotto centrale disposto lungo detto asse ed almeno un secondo condotto anulare disposto intorno a detto condotto centrale ed una testina, fissata ad una estremità di detto corpo e provvista di almeno un primo foro passante che mette in comunicazione detto primo condotto centrale con l'esterno, detto primo foro avente superficie laterale che circonda l'asse di detto corpo cilindrico e di secondi fori passanti che mettono in comunicazione detto secondo condotto con l'esterno, detti secondi fori aventi ciascuno un proprio asse formante un primo angolo con un piano passante per detto primo asse e per il punto di intersezione dell'asse del foro con la superficie esterna della testina (dove con tale termine si intende il prolungamento di detta superficie non considerando la presenza del primo foro) ed avente proiezione su detto pia-



no la quale forma un secondo angolo con detto primo asse del corpo cilindrico.

Detto primo foro è preferibilmente coassiale con detto corpo cilindrico.

Preferibilmente è presente un terzo condotto, anulare, disposto intorno a detto secondo condotto e la testina presenta terzi fori che mettono in comunicazione detto terzo condotto con l'esterno. Detti terzi fori hanno ciascuno un proprio asse formante un primo angolo con un piano passante per detto primo asse e per il punto di intersezione dell'asse del foro con la superficie esterna della testina (dove con tale termine si intende il prolungamento di detta superficie non considerando la presenza del primo foro) ed avente proiezione su detto piano la quale forma un secondo angolo con detto primo asse del corpo cilindrico.

Detti primi angoli e detti secondi angoli dei secondi e terzi fori possono vantaggiosamente essere compresi fra 5 e 60°, i primi e secondi angoli dei secondi fori possono essere anche diversi da quelli dei terzi fori. Preferibilmente sono tali che gli assi dei secondi e terzi fori, a due a due si incrociano all'esterno del bruciatore. Essendo i fori destinati a fare fuoriuscire getti di gas alimentati ai condotti dell'iniettore-bruciatore, tale disposizione permetterà una buona miscelazione dei gas provenienti dai secondi e terzi fori, che saranno preferibilmente disposti su corone circolari concentriche con il primo asse del corpo cilindrico. Essi possono essere divisi in più gruppi intervallati da settori circolari della testina privi di fori. Detti settori sono individuati tra due lati di un angolo avente vertice al centro della testina (intersezione tra asse del corpo cilindrico e superficie esterna della testina) maggiore dell'angolo con vertice al centro

della testina lati le rette passanti per detto centro ed i centri di due secondi o terzi fori (se presenti) adiacenti. Possono essere presenti due o più di tali gruppi.

Il primo condotto, o il corrispondente primo foro, può presentare un tratto sagomato ad ugello convergente o convergente-divergente, per regolare l'espansione del gas che fluisce nel condotto, dalla pressione di alimentazione a quella di uscita. Un ulteriore quarto condotto può essere presente, interno al primo condotto e, preferibilmente, coassiale con esso, per alimentare componenti solidi o liquidi, preferibilmente dispersi in un gas, ad esempio polveri necessarie al processo trasportate da un gas, come l'aria o ossigeno.

L'invenzione riguarda anche un metodo per l'introduzione di gas in un forno di fusione per materiale metallico, in particolare ad arco elettrico comprendente l'introduzione dei gas ad un iniettore-bruciatore come sopra descritto.

L'invenzione riguarda anche un metodo per il riscaldamento e/o il trattamento metallurgico di materiale metallico in un forno di fusione, in particolare ad arco elettrico, comprendente l'alimentazione, al primo condotto di un iniettore-bruciatore come descritto sopra di un gas contenente ossigeno, al secondo condotto di un gas contenente un combustibile, per esempio metano o gas naturale, e di un gas contenente ossigeno al terzo condotto, se presente.

L'invenzione riguarda anche un ulteriore metodo di trattamento metallurgico del metallo in un forno di fusione, che prevede l'iniezione di combustibile quale metano nel bagno fuso anche attraverso il primo condotto



dell'iniettore-bruciatore.

Grazie alle caratteristiche relative alla conformazione dei fori sulla testina, l'iniettore-bruciatore può realizzare una fiamma di forma variabile a seconda delle esigenze della fase di avanzamento del processo di fusione quando viene utilizzato in modalità bruciatore.

Può inoltre lavorare anche in modalità di iniezione di ossigeno (anche a regime supersonico) e nelle diverse forme di realizzazione anche per operare l'iniezione di materiale solido in polvere o granuli, quale carbone o calce.

Il dispositivo risolve i problemi tipici della tecnica nota, avendo la possibilità di lavorare in modalità bruciatore durante la fase di fusione, realizzando una fiamma molto ampia nella fase iniziale del processo e una fiamma concentrata nelle fase conclusiva della fusione, e successivamente di lavorare in modalità di iniettore di ossigeno supersonico o di carbone o di calce nella fase di affinazione del bagno liquido.

Il passaggio tra queste diverse fasi e modalità di iniezione e combustione avviene semplicemente regolando le portate nei vari ugelli dell'iniettore.

Un altro vantaggio che se ne ricava è la facilità con la quale l'iniettore-bruciatore della presente invenzione può sostituire gli iniettori o bruciatori della tecnica nota nelle installazioni comuni dei forni di fusione, ottenendo un considerevole risparmio economico.

L'iniettore è costituito da un corpo cilindrico realizzato con tubi concentrici di grande semplicità costruttiva collegato ad una testina, per esempio in rame, anch'essa cilindrica. Si tratta quindi di un iniettore compati-



bile con installazioni già esistenti, che può sostituire gli iniettori della tecnica nota senza bisogno di modifiche agli alloggiamenti di dette macchine sulle pareti del forno.

Ovviamente può essere realizzato in altri modi senza uscire dallo spirito dell'invenzione.

Nella modalità di installazione fissa, l'iniettore-bruciatore può essere montato a parete come nell'arte nota, o sul pianale dell' EBT (eccentric bottom tapping) , cioè della zona eccentrica tipica dei moderni forni di fusione da cui avviene lo spillaggio della massa fusa a fine processo.

L'installazione in questa zona del forno di fusione permette di esercitare l'azione di riscaldamento e di trattamento metallurgico della massa liquida in una zona solitamente fredda del forno, che è critica per la velocità delle operazioni di fusione.

Può anche essere vantaggioso che l'iniettore-bruciatore sia mobile rispetto al forno, in modo da poter essere spostato verso l'interno durante il procedere delle operazioni di fusione e affinazione della massa metallica caricata all'interno del forno.

Breve descrizione delle Figure

Ulteriori caratteristiche e vantaggi del trovato risulteranno maggiormente evidenti alla luce della descrizione dettagliata di una forma di realizzazione preferita ma non esclusiva di un bruciatore per forno di fusione ad arco elettrico illustrato a titolo esemplificativo e non limitativo con l'ausilio delle unite tavole di disegno in cui:

la figura 1 rappresenta una vista frontale di un iniettore-bruciatore conforme all'invenzione;



le figure 2, 3, 4 e 5 rappresentano viste in sezione longitudinale di iniettori-bruciatori secondo diversi aspetti della presente invenzione.

la figura 6 rappresenta diversi schemi di disposizione dei secondi e terzi fori della testina di un di un iniettore-bruciatore conforme all'invenzione, nonché la sezione normale all'asse dell'iniettore-bruciatore della fiamma da essi generata;

la figura 7 rappresenta l'andamento delle portate di gas alimentati ad un iniettore-bruciatore conforme alla presente invenzione nelle varie fasi di un processo di fusione di rottame ferroso in un forno ad arco elettrico.

In figura 8 è rappresentata la curva con l'andamento della percentuale di combustibile reagito in funzione della distanza dalla testina di un iniettore-bruciatore conforme all'invenzione utilizzato in modalità bruciatore, in confronto con un dispositivo della tecnica nota.

La figura 9 presenta uno schema tridimensionale dell'evoluzione della fiamma prodotta dall'iniettore-bruciatore nella sua modalità di funzionamento che genera una fiamma larga

La figura 10 presenta uno schema tridimensionale dell'evoluzione della fiamma prodotta dall'iniettore-bruciatore nella sua modalità di funzionamento che genera una fiamma concentrata.

Descrizione dettagliata di forme di realizzazione preferite

Con particolare riferimento alla Figura 1, si ha la vista frontale di un iniettore-bruciatore per la produzione di calore e per il trattamento metallurgico in un forno ad arco elettrico, comprendente una testina 2, di opportuno materiale, generalmente di rame, e un corpo cilindrico 3. La testina 2 è provvista di una pluralità di fori disposti lungo circonferenze o



archi di circonferenza concentrici all'asse della testina e del bruciatore. Il corpo cilindrico 3 del bruciatore 1 è formato da più tubi coassiali inseriti l'uno nell'altro. Sono indicate le direzioni 4 e 4' degli assi dei fori 5 e 5' dei secondi e terzi fori rispettivamente. Come si vede si intersecano a due a due, si aprono verso l'esterno ed hanno una componente tangenziale, rispetto all'asse dell'iniettore-bruciatore. Alimentando combustibile ai secondi fori e comburente ai terzi (o viceversa) si otterranno fiamme che si avvitano attorno all'asse 6 del corpo cilindrico 3. È anche visibile il primo foro 7.

In figura 2 è rappresentato, in sezione longitudinale, un iniettore-bruciatore secondo una possibile forma di realizzazione dell'invenzione. Sono riconoscibili il primo condotto 8, il secondo 10 ed il terzo 9, come pure una camicia 11, opzionalmente presente, destinata alla circolazione di un fluido, per esempio acqua, di raffreddamento, ricavati tra diversi tubi coassiali, indicati collettivamente con il riferimento 12. Condotture 13 e 13' sono presenti per l'alimentazione e l'asportazione di detto fluido. I gas sono alimentati ai condotti mediante condutture, come quelle indicate con 14. Il primo foro 7 è coassiale con il corpo cilindrico 3. Si nota ancora il tratto 15 convergente-divergente all'estremità del primo condotto 8, adatto specialmente in caso di efflusso supersonico del gas fluente nel primo condotto 8. Il tratto convergente-divergente è conformato preferibilmente in modo tale da convertire la pressione di alimentazione nella pressione di scarico secondo un andamento a tangente iperbolica lungo il tratto.

Nel primo condotto può venire alimentato ossigeno o un gas contente

ossigeno.

Nella variante rappresentata nelle figure, la testina 2 presenta due camere anulari 19 e 19' che servono per la distribuzione del gas del secondo condotto e del gas del terzo condotto, in generale essendo questi gas un comburente e un combustibile, per es. ossigeno e metano rispettivamente (anche se è possibile cambiare l'ordine delle alimentazioni, se ritenuto necessario), ai secondi e terzi fori 5 e 5' che da esse si dipartono. Altre forme di realizzazione sono comunque possibili, ad esempio con più camere destinate alla distribuzione di combustibile e comburente messe in comunicazione con l'esterno attraverso più distribuzioni concentriche di fori realizzati nella testina 2.

In figura 3 è rappresentato, in sezione longitudinale, un bruciatore-iniettore secondo un'altra possibile forma di realizzazione dell'invenzione.

In tal caso il tratto convergente divergente è sostituito con un tratto semplicemente convergente 15'. I diametri del primo foro 7 e primo condotto 8 sono scelti in armonia con le caratteristiche dei tratti 15 o 15'.

Le figure 4 e 5 rappresentano in sezione longitudinale, altre varianti, rispettivamente con tratto convergente-divergente e quarto condotto 16, separato dal primo condotto 8 dal tubo 17, detto quarto condotto essendo deputato all'introduzione di polveri o granuli (per esempio di carbone o calce) trasportati, per esempio da un'opportuna corrente di gas, e con primo condotto diritto senza tratti convergenti o convergenti-divergenti, che può essere utilizzato per iniettare polveri insieme al gas del primo condotto. In quest'ultimo caso nel primo foro può essere alloggiato un

tubo consumabile (20 in figura 5), in acciaio o altro materiale adatto, avente lo scopo di proteggere le pareti del primo condotto del dispositivo dall'azione abrasiva delle polveri o granuli; secondo un aspetto dell'invenzione l'introduzione dei solidi avviene in una corrente di gas il cui efflusso dalla testina dell'iniettore-bruciatore è subsonico.

Sono possibili altre combinazioni, secondo le esigenze di processo e di impianto.

Come è stato detto i secondi ed i terzi fori (se presenti) sono preferibilmente distribuiti su due corone circolari concentriche, come visibile da figura 1. Essi possono essere divisi in più gruppi intervallati da settori circolari della testina privi di fori. Detti settori sono individuati tra due lati di un angolo avente vertice al centro della testina (intersezione tra asse del corpo cilindrico e superficie esterna della testina) maggiore dell'angolo con vertice al centro della testina lati le rette passanti per detto centro ed i centri di due secondi o terzi fori (se presenti) adiacenti. Possono essere presenti due o più gruppi, in modo da formare due o più fiamme che si avvitano intorno all'asse dell'iniettore-bruciatore dando buona miscelazione e distribuzione del calore. L'orientamento dei secondi e terzi fori è tale da dare ai getti di gas una componente di direzione tangenziale all'asse dell'iniettore-bruciatore. Nelle figure 6a-6e sono indicati diversi tipi di disposizione possibile dei fori, i quali daranno diverse tipologie di fiamma nella modalità di funzionamento dell'iniettore-bruciatore che prevede di iniettare combustibile e comburente attraverso questi fori, che potranno essere scelte in base alle esigenze. Con scelte opportune della disposizione ed orientamento dei fori si otterranno fiamme di forma desi-



derata, forma che può essere adeguabile alle esigenze del processo. È anche disegnata, a fianco di ogni tipologia di testina la sezione della fiamma generata, normale all'asse dell'iniettore bruciatore ad una certa distanza da esso, fiamma generata in particolare operando in modalità di "fiamma larga" come descritto in seguito.

La figura 6b rappresenta un aspetto particolarmente preferito dell'invenzione.

I secondi e terzi fori possono anche essere sagomati ad ugello convergente o convergente-divergente, per poter dare un efflusso supersonico dei gas ivi alimentati.

In tutte le forme di realizzazione previste dalla presente invenzione, l'iniettore-bruciatore può essere montato sia fisso a parete che su un manipolatore che ne consenta il movimento all'interno del forno di fusione.

Nell'installazione fissa a parete l'asse dell'iniettore-bruciatore può essere orientato a piacimento sia sul piano verticale che su quello orizzontale.

L'iniettore-bruciatore può essere montato su qualunque lancia da parete o da porta (movimentata da manipolatore) della tecnica nota. Il suo design e le prestazioni dei suoi getti sono superiori rispetto alla tecnica nota (in particolare dell'ossigeno supersonico grazie al design speciale dell'ugello) e permettono un utilizzo di queste lance innovativo rispetto alla tecnica nota.

Si evidenzia infatti che le lance della tecnica nota sono costrette ad operare a distanze tipiche di 300 - 350 mm dal bagno a causa della scarsa coerenza del getto di ossigeno da esse prodotto. Solo operando a di-



stanze così ridotte l'efficienza di penetrazione dell'ossigeno nel bagno è accettabile. Tuttavia le lance della tecnica nota soffrono di un'affidabilità e durata molto limitate a causa del fatto che operando ad una distanza ridotta dal bagno fuso sono poste in condizioni termo-fisiche critiche e possono essere investite direttamente da splashing di metallo fuso.

Se montato all'estremità di una lancia mobile, il presente iniettore-bruciatore può dare elevate efficienze di iniezione anche se il suo punto di inserimento è più distante dal bagno rispetto allo stato applicativo della tecnica. E' possibile ottenere efficienze di iniezione uguale o superiore rispetto alla lance esistenti operando ad una distanza fino a 1 - 1,5 metri.

A queste distanze la durata della lancia è di molte volte superiore, potendo operare più distante dal bagno ed essendo quindi molto meno sollecitata dal punto di vista termo-meccanico e non a rischio di splashing di metallo fuso.

Questa peculiarità permette di applicare l'iniettore-bruciatore anche in una modalità di installazione intermedia fra l'installazione fissa a parete e l'installazione su una lancia con manipolatore dotato di molteplici gradi di libertà di movimento, entrambe modalità tipiche della tecnica nota.

E' possibile montare a parete un manipolatore compatto ad un solo grado di libertà assiale, che consente l'inserimento dell'iniettore-bruciatore nel forno secondo la sua direzione assiale. In questa configurazione gli angoli verticale ed orizzontale di installazione dell'iniettore-bruciatore non vengono alterati, ma viene variata solo la distanza iniettore-bruciatore-bagno.

Questo grado di libertà assiale permette di avere sempre un rendimento



di iniezione massimo, indipendentemente dalla posizione attuale del livello liquido, che è funzione della quantità di carica metallica caricata nel forno, della fase del processo e dello stato di usura del tino refrattario.

In ogni caso la distanza minima di lavoro dal bagno può essere anche in questo caso superiore a quella di una lancia standard della tecnica nota e quindi i problemi di sollecitazione termo-meccanica dell'iniettore-bruciatore sono ridotti. Tipicamente si può definire una distanza minima di 500-600 mm dal bagno.

La corsa assiale del dispositivo di inserimento montato a parete può essere quindi ridotta (tipicamente è di 1 - 1,5 metri) e quindi anche l'ingombro esterno della macchina, quando in fase di caricamento l'iniettore-bruciatore viene portato in posizione allineata con la parete.

Sono ora descritte alcune possibili modalità di funzionamento di un iniettore-bruciatore secondo la presente invenzione avente secondi e terzi fori, distribuiti su corone circolari concentriche.

Nella **"modalità bruciatore a fiamma larga"** il comburente viene alimentato dai terzi fori, o corona di fori esterna e il combustibile dai secondi fori o corona di fori interna. Il primo foro centrale viene flussato con una minima portata di aria, onde preservare la pulizia dello stesso. In tale modalità, la forma della fiamma prodotta dall'iniettore-bruciatore è regolata dall'effetto fisico del mulinello o vortice, comunemente denominato con il termine inglese "swirl", indotto dall'inclinazione dei secondi e terzi fori, che tende a dare un allargamento della fiamma, il quale si combina con l'effetto prodotto dal grado di separazione dei flussi prodotti da ciascun gruppo di fori, la cui intensità è funzione dell'angolo di spa-

ziatura tra di essi.

Disponendo i secondi e terzi fori in gruppi distinti e spaziatati tra di loro, si produce un effetto che permette alla fiamma di allargarsi con continuità e non richiudersi su se stessa, come farebbe invece la fiamma anulare prodotta da una testina senza spaziatatura tra i gruppi di fori.

La Fig. 6b mostra una sezione della fiamma larga prodotta dalla forma preferita della presente invenzione. Il flusso risultante presenta quattro zone di fiamma. Si produce un leggero effetto di vortice che conferisce ai getti una configurazione spaziale ad elica. Il flusso risultante presenta 4 zone di fiamma parzialmente interagenti, dato che l'effetto vortice associato alla ridotta separazione tra i gruppi di fori determina un ricircolo dei prodotti di combustione verso la zona d'asse dell'iniettore-bruciatore. In questo modo si possono identificare 5 direzioni di fuoco principali. L'apertura delle quattro fiamme esterne è inferiore alla direzione geometrica dei fori. Nello spazio lasciato libero tra i gruppi di fori il gas ambientale riesce a fluire, richiamato dall'azione dei flussi prodotti dai distinti gruppi di fori, alimentando la regione assiale dell'iniettore-bruciatore. In questo modo i flussi prodotti da ciascun gruppo si possono espandere nello spazio seguendo la direzione imposta dall'inclinazione dei fori. Il collegamento fluidodinamico realizzato fra l'ambiente circostante e la regione assiale dell'iniettore-bruciatore evita infatti l'insorgenza di una zona centrale in depressione, che farebbe collassare la fiamma.

La fiamma ruota nello spazio, man mano che ci si allontana dalla testina con notevole aumento della sua efficacia.

La figura 9 mostra l'evoluzione della fiamma prodotta dalla realizzazione



preferita della presente invenzione in modalità fiamma larga, con sezioni 21, 22 23 e 24 della stessa a 0,5 – 1 – 1,5 e 2 metri dalla testina 2 dell'iniettore.

In generale, l'effetto di vortice, accoppiato al fatto che i getti di comburente e combustibile vengono orientati in modo da collidere a due a due, determina un'ottima miscelazione dei reagenti per cui l'iniettore-bruciatore in modalità bruciatore sviluppa la quasi totalità della sua potenza su distanze dalla testina inferiori rispetto a bruciatori (o iniettori in modalità bruciatore) di tipo noto.

La figura 8 presenta un grafico che permette il confronto della percentuale di combustibile reagito con il comburente in funzione della distanza dalla testina lungo l'asse per un iniettore-bruciatore secondo l'invenzione, rappresentato dalla curva H, e per un bruciatore (o iniettore in modalità bruciatore) di tipo noto per applicazione in EAF, rappresentato dalla curva L.

Dal grafico si comprende che l'iniettore-bruciatore dell'invenzione utilizzato in modalità bruciatore esaurisce la reazione di combustione già a 200-300 mm di distanza dalla testina, mentre un bruciatore (o iniettore-bruciatore in modalità bruciatore) convenzionale ha bisogno di oltre 700 mm per avere lo stesso effetto di esaurimento della reazione di combustione.

Questo comportamento della fiamma congiunta con la sua particolare morfologia assunta nello spazio è all'origine di una serie di vantaggi rispetto agli iniettori/bruciatori della tecnica nota in applicazioni tecniche particolari come l'impiego per la fusione di metallo in forni EAF.



In particolare l'effetto di riscaldamento della carica metallica avviene, oltre che per irraggiamento, per convezione dei prodotti di combustione, che hanno un potere ossidante sulla carica molte volte inferiore rispetto all'ossigeno. La minimizzazione della regione di fiamma con comburente non reagito implica la minimizzazione dell'effetto ossidante nei confronti della carica.

Si produce quindi una minima ossidazione della carica grazie ad una miscelazione ottimizzata, all'assenza di zone ricche di ossigeno e alla bassa velocità della fiamma prodotta. La fusione della carica metallica è data dal calore prodotto dalla fiamma e non dall'ossitaglio, in presenza di riscaldamento uniforme ed evitando l'ossidazione della carica metallica, con guadagno nel bilancio energetico globale del processo fusorio del forno.

Il volume di carica riscaldato è 3+4 volte più grande rispetto ai bruciatori (e iniettori in modalità bruciatore) a fiamma concentrata noti nello stato della tecnica.

Con le forme di realizzazione previste dalla presente invenzione la fiamma prodotta ha una sezione frontale molte volte superiore rispetto agli iniettori della tecnica nota (10 volte è più).

L'iniezione della fiamma è più morbida e distribuita, permettendo di non perforare la carica fino alla zona dell'arco elettrico, non rischiando di disturbare l'arco e non facendo salire i gas combusti lungo l'elettrodo, senza passare attraverso la carica metallica.

Si riesce a preriscaldare senza lasciare zone di discontinuità tutto l'anello di carica alla base della colonna presente nel forno con un nu-



mero ridotto di unità installate.

I gas caldi prodotti dalla combustione salgono all'interno della carica più lentamente e in modo uniforme e quindi hanno più tempo per cedere la propria energia alla carica metallica.

Tipicamente la potenza massima di un bruciatore (o iniettore in modalità bruciatore) della tecnica nota, oltre la quale il suo impiego in EAF diventa poco efficiente e origine dei problemi citati, è intorno ai 2+3 MW.

Il design dell'iniettore della presente invenzione è tale da produrre una fiamma molto ampia ottenuta come sommatoria di più fiamme singole aventi direzioni diverse nello spazio e solo parzialmente interagenti. Tipicamente si possono riconoscere da 4-5 direzioni di fiamma principali.

In questo modo, ciascun iniettore può introdurre nel forno una potenza 2+4 volte superiore rispetto agli iniettori della tecnica nota senza rischiare di concentrare l'energia solo in zone puntuali e mantenendo invece un preriscaldamento continuo su tutta la circonferenza del forno. L'iniettore della presente invenzione può arrivare in modalità bruciatore alla potenza di 8+10 MW e anche oltre, senza incorrere negli svantaggi dei dispositivi della tecnica nota. E' quindi possibile introdurre più potenza nel forno senza aumentare il numero di unità installate e quindi la complessità del bordo macchina.

In conformità con l'invenzione è possibile realizzare bruciatori che generano una fiamma come sommatoria di più flussi/fiamme con un predeterminato grado di indipendenza tra di loro caratterizzato dalla separazione geometrica dei gruppi di fori. La forma della fiamma nello spazio viene infatti regolata per sviluppo e apertura dall'effetto di vortice dei fori



e dalla spaziatura fra i gruppi.

Una variante significativa dell'invenzione è quella in cui i secondi e terzi fori sono disposti in modo regolare lungo circonferenze e non sono raggruppati. Se essi sono distribuiti in modo uniforme e continuo attorno all'asse dell'iniettore-bruciatore e sono ravvicinati, a parità di inclinazione dei fori di comburente e combustibile, la presenza del solo effetto di vortice produce un minore allargamento della fiamma. In questo caso infatti, la fiamma si allarga in uscita dalla testina secondo il vettore indotto dal vortice, ma a poca distanza dalla testina tende a richiudersi su se stessa. La ragione per cui questo avviene è che ad una certa distanza dalla testina la quantità di moto dei getti viene dissipata e non riesce a mantenere la depressione nella regione assiale con la conseguenza che la fiamma si richiude su se stessa divenendo nuovamente concentrata. Questa variante produce quindi una fiamma concentrata, ma offre comunque il vantaggio di un miglioramento del miscelamento dei reagenti in uscita dalla testina rispetto agli iniettori di tipo noto.

Nella **"modalità bruciatore a fiamma concentrata"**, il comburente viene alimentato dal primo foro centrale e il combustibile dalla corona di terzi fori interna. La corona di secondi fori esterna è flussata con una minima portata di aria onde preservarne la pulizia. In questo modo l'allargamento naturale del flusso prodotto dall'orientamento spaziale della corona di fori del combustibile viene inibito dalla quantità di moto del getto centrale che richiama attorno a sé tutta la portata di combustibile iniettata. Si produce quindi una fiamma fortemente direzionale guidata dal getto di comburente assiale.



La figura 10 mostra su due sezioni assiali 25 e 25' fra di loro ortogonali l'andamento della fiamma prodotta dall'iniettore della presente invenzione in modalità fiamma concentrata.

Il flusso di comburente viene attratto dal getto assiale ma conserva il suo andamento elicoidale indotto dall'orientamento spaziale dei fori. Questo sviluppo a spirale del flusso di combustibile avvolto intorno al getto assiale di comburente aumenta l'efficienza di miscelazione e quindi il rendimento di combustione dell'iniettore nella modalità bruciatore a fiamma concentrata.

Il passaggio dalla "modalità bruciatore a fiamma larga" alla "modalità bruciatore a fiamma concentrata" avviene durante il processo quando la fusione della carica metallica è arrivata al punto in cui il livello della carica è sceso al di sotto del livello di installazione dell'iniettore-bruciatore. Con la "modalità bruciatore a fiamma concentrata" è possibile ottenere una fiamma fortemente direzionale e ad elevata densità e concentrazione di potenza che permette di fondere la carica solida residua e iniziare ad ossidare la carica presente al livello del bagno liquido. Il passaggio a questa modalità è reso necessario dal cambiamento di morfologia della carica all'interno del forno, per cui la fiamma larga porterebbe in questa fase ad una forte dispersione di calore direttamente verso le pareti del forno e verso l'impianto fumi. La fiamma concentrata permette invece di trasferire la totalità del calore sviluppato dalla combustione alla residua carica da fondere e al bagno.

Il passaggio dalla "modalità bruciatore a fiamma larga" alla "modalità bruciatore a fiamma concentrata" può avvenire anche gradualmente



sfruttando la **"modalità bruciatore ibrida"**. In questa modalità il comburente viene alimentato sia dall'ugello centrale che dalla corona di fori esterna, mentre il combustibile viene alimentato dalla corona di fori interna. In questa modalità è possibile ottenere tutte le forme di fiamma intermedie fra le due modalità bruciatore a fiamma "larga" e "concentrata" semplicemente variando il rapporto della portata di comburente iniettata dall'ugello centrale e della portata di comburente iniettata dalla corona di fori esterna. La modulazione della fiamma può quindi avvenire in modo graduale.

Nella **"modalità di iniezione di ossigeno supersonico"**, l'ossigeno viene alimentato attraverso l'ugello centrale, mentre le corone di fori vengono flussate con la minima portata di aria.

Una volta completata la fusione della carica e trasformata completamente allo stato liquido, è necessario effettuare l'affinazione del bagno iniettandovi ossigeno ad alta velocità e in profondità.

Questa funzione viene assolta dallo stesso iniettore-bruciatore, essendo esso provvisto sul suo asse di un ugello che permette di iniettare la portata designata di ossigeno (da 600 a 10000 Nm³/h a seconda della taglia del forno di fusione e delle esigenze specifiche del processo) con una velocità corrispondente al numero di Mach 2 o superiore.

In tale modalità, il getto di ossigeno presenta caratteristiche superiori rispetto alla tecnica nota soprattutto se presente il tratto sagomato ad ugello convergente-divergente nel primo condotto.

Il design di questo ugello è tale da garantire un'efficienza di iniezione superiore allo stato della tecnica anche con distanze di installazione dal



bagno considerevoli (maggiori di 1,5 metri).

L'ugello centrale convergente-divergente è preferibilmente conformato con un profilo aerodinamico per convertire la pressione totale di alimentazione (tipicamente maggiore di 10 bar) in velocità, adattandosi alla pressione di scarico, secondo una legge a tangente iperbolica del tipo:

$$f(x) = a \cdot th(c - b \cdot x) + d$$

in cui :

$$a = \frac{p_0 - p_s}{2}; \quad b = \forall; \quad d = \frac{p_0 + p_s}{2}; \quad c = ath\left(\frac{1-d}{a}\right); \quad th(\kappa) = \frac{e^{\kappa} - e^{-\kappa}}{e^{\kappa} + e^{-\kappa}}; \quad ath(\gamma) = th^{-1}(\gamma).$$

dove p_0 è la pressione di alimentazione, p_s è la pressione di scarico, x è la lunghezza percorsa dal gas nel tratto ad ugello, b rappresenta un fattore di forma arbitrario che determina il grado di conicità del profilo nell'intorno della sezione di gola e può assumere qualunque valore (tipicamente tra 1 e 3) e $f(x)$ è una funzione a cui la pressione nelle varie sezioni dell'ugello si mantiene proporzionale.

Questa tipologia di profilo garantisce una perfetta espansione dell'ossigeno all'interno dell'ugello fino alla condizione all'uscita. Sulla sezione di uscita tutte le grandezze termodinamiche nonché il profilo di velocità sono estremamente uniformi; questo garantisce la massima prestazione del getto supersonico in termini di coerenza del getto. Di conseguenza il getto di ossigeno supersonico può penetrare in profondità nel bagno liquido anche se l'iniettore è installato sulla parete del forno a distanze dal bagno superiori a 1,5 metri. La regione coerente (in cui la velocità dei gas lungo l'asse del getto, coincidente con quello dell'iniettore-bruciatore, non diminuisce, cioè rimane pari ad almeno il



3601PTIT

Notarbartolo & Gervasi S.p.A.

99% di quella del gas sulla superficie della testina dell'iniettore-bruciatore) del getto prodotto da questo tipo di ugello convergente-divergente è tipicamente 2÷3 volte più lunga rispetto agli iniettori conosciuti dalla tecnica nota. L'iniettore della presente invenzione può arrivare a produrre getti di ossigeno perfettamente coerenti fino alla distanza di $2 \div 2,5$ metri.

Questa peculiarità permette un'efficiente iniezione di ossigeno in profondità nel bagno, per cui la realizzazione del procedimento di affinazione viene accelerata. Inoltre grazie alla sua coerenza, la quantità di moto trasmessa al bagno liquido è massima e quindi anche l'agitazione e mescolamento del bagno liquido.

Quando l'iniettore è orientato in modo da produrre un getto non ortogonale al bagno (sul piano verticale) e/o non diretto verso l'asse del forno (sul piano orizzontale), si determina un forte effetto di stirring del bagno sul piano verticale e/o che sul piano orizzontale. Questo effetto dà al liquido una grande uniformità chimica e termica, con evidenti vantaggi sia in qualità del prodotto che in velocità di affinazione.

Durante l'iniezione di ossigeno supersonico dall'ugello centrale, le due corone di secondi e terzi fori vengono flussate con la minima quantità di aria tale da preservare la pulizia dei fori stessi. Questo flusso di aria si avvolge in forma di spirale attorno al getto di ossigeno, essendo da esso richiamato per effetto Venturi, in perfetta analogia con quanto accade nella modalità bruciatore a fiamma concentrata. La presenza di questo flusso elicoidale di aria attorno al getto di ossigeno non danneggia la coerenza del getto, anzi la migliora leggermente, dato che diminuisce il



gradiente di velocità del getto rispetto all'ambiente e quindi la dissipazione dell'energia cinetica del getto per attrito viscoso.

Si può anche adottare una **"modalità ibrida di iniezione di ossigeno supersonico"** in cui, oltre all'iniezione di ossigeno supersonico dall'ugello centrale, viene mantenuta la funzione bruciatore sulle corone di fori oppure viene iniettato solo metano dalla corona di fori interna. La fiamma prodotta da combustibile e comburente (rispettivamente iniettati dalla corona di fori interna ed esterna nel primo caso o dalla corona di fori interna e dall'ugello centrale nel secondo caso), viene richiamata per effetto Venturi dal getto di ossigeno supersonico e si avvolge in forma di spirale attorno ad esso. La presenza di questa fiamma elicoidale intorno al getto di ossigeno promuove ulteriormente la coerenza del getto, dato che oltre a ridurre la dissipazione viscosa, produce un cuscinetto fluido ad alta temperatura intorno al getto. I gas combusti, grazie alla loro elevata temperatura, hanno una bassa densità e quindi possono essere facilmente trascinati dal getto di ossigeno senza ridurne significativamente l'energia cinetica.

La presenza di questa fiamma elicoidale che si avvolge intorno al getto di ossigeno permette di arrivare a lunghezze coerenti del getto superiori alle applicazioni della tecnica nota in cui i getti di ossigeno vengono protetti da una fiamma anulare puramente assiale e priva di componente circonferenziale.

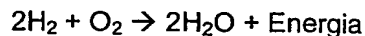
Quando la portata di combustibile, come ad esempio metano, iniettata intorno all'ossigeno supersonico, è tale che la combustione non si esaurisce lungo il getto libero, una quantità di combustibile non reagito arriva



nella scoria e nel bagno fuso. In queste condizioni aria o ossigeno possono essere iniettate dalla corona di fori esterne per compiere una reazione di post-combustione che verrà ora chiarita. L'effetto di ossidazione indotto dall'ossigeno supersonico nella zona di impatto sul bagno determina temperature locali elevate del metallo fuso ($>1800^{\circ}\text{C}$). A queste temperature il combustibile che arriva sul bagno dà la reazione di cracking (ad es. nel caso in cui il combustibile sia metano) :



per cui si dissocia in carbonio e idrogeno. La reazione è endotermica e quindi si ha un raffreddamento della zona che evita temperature troppo alte del metallo fuso (e quindi l'eventuale evaporazione del metallo con conseguente calo della resa del forno) e favorisce la schiumazione della scoria. Il carbonio carbura il bagno liquido, mentre l'idrogeno va a ridurre gli ossidi presenti sul livello del bagno e nella scoria. Questa reazione di riduzione interessa anche l'ossido di metallo presente al livello del bagno e permette di incrementare la resa del processo fusorio, recuperando metallo che altrimenti andrebbe perso nella scoria. La parte di idrogeno che non riesce a trovare ossidi da ridurre brucia con la parte dell'ossigeno iniettato che non penetra in profondità nel bagno oppure con l'aria (o ossigeno) iniettata insieme al getto dalla corona di fori esterna dell'iniettore. Questa reazione di post-combustione dell'idrogeno :



libera energia e una grande quantità di gas (vapore acqueo) che risalendo nella scoria ne determina la schiumazione. La stessa reazione di riduzione degli ossidi, in parte effettuata dall'idrogeno determina la produ-

zione di una grande quantità di vapore acqueo. La schiumazione della scoria è molto efficiente e si unisce a quella determinata dalla risalita del CO prodotto dalla decarburazione del bagno. Complessivamente si assiste ad un rapido rigonfiamento della scoria che ha benefici effetti sul bilancio termico del processo e sull'efficienza dell'arco elettrico.

La postcombustione dell'idrogeno può avvenire anche al di sopra della scoria qualora il flusso di aria (o ossigeno) prodotto dalla corona di fori esterna dell'iniettore venga ridotto in modo da non penetrare nella scoria. La modalità di funzionamento appena descritta può definirsi come **"modalità ibrida di iniezione ossigeno – carburazione – riduzione e postcombustione"**. Questa fase si applica nelle condizioni di bagno piatto.

Lo stesso iniettore-bruciatore può essere utilizzato anche in una **"modalità di pura carburazione"** in modo molto efficiente. Questo avviene quando il combustibile viene iniettato attraverso l'ugello centrale convergente-divergente. In questo caso se la portata di combustibile è sufficientemente alta (in funzione della taglia dell'ugello e tipicamente superiore a 100 Nm³/h) il getto di combustibile risulta molto compatto e ad alta quantità di moto e può anche raggiungere il regime supersonico. La penetrazione del combustibile nel bagno è quindi molto efficiente. Anche in questo caso si ha la reazione di cracking del combustibile in carbonio e idrogeno. Il carbonio carbura in profondità il bagno mentre l'idrogeno riduce gli ossidi presenti al livello del bagno liquido e nella scoria e successivamente risale attraverso la scoria dove o al di sopra della quale può dare postcombustione con un flusso di aria (o ossigeno) av-

volto attorno al getto assiale di combustibile e prodotto da una o da entrambe le corone di fori dell'iniettore. Anche questa fase si applica nelle condizioni di bagno piatto. Il regime di iniezione del gas contenete combustibile può essere sub- o supersonico a seconda delle esigenze e della conformazione del primo condotto.

Le realizzazioni della presente invenzione già descritte e presentate nelle figure 2, 3, 4 e 5 hanno le modalità "bruciatore a fiamma larga", "bruciatore a fiamma concentrata", "bruciatore ibrida", "ibrida di iniezione ossigeno - carburazione - riduzione e postcombustione" e "di pura carburazione" identiche a quelle appena descritte.

Le varianti presentate in figura 4 e 5 permettono più specificamente l'iniezione di materiale solido in polvere o granuli (quali carbone o calce), essendo provviste sull'asse di un ugello dedicato all'iniezione di questi materiali in fase di affinazione. In particolare la variante presentata in figura 4 consente l'iniezione contemporanea di gas (ad es. ossigeno) in regime supersonico e materiale in polvere o granuli (quali carbone o calce), essendo provvista sul suo asse di un ugello convergente-divergente per l'ossigeno con inserito all'interno un tubo per l'iniezione del materiale solido.

In tutti i casi dall'ugello centrale può essere iniettato anche un gas contenete ossigeno per operare la post-combustione del monossido di carbonio che fuoriesce dal bagno liquido in fase di affinazione.

In generale per tutti le varianti previste dell' iniettore-bruciatore della presente invenzione e per tutte le modalità di funzionamento non c'è limitazione alcuna circa i rapporti stechiometrici combustibile / comburente



che si possono utilizzare.

L'invenzione riguarda anche un processo di riscaldamento, fusione e trattamento metallurgico di materiale metallico in un forno di fusione, in particolare ad arco elettrico, comprendente l'alimentazione, al primo condotto di un iniettore-bruciatore come descritto sopra di un gas contenente ossigeno, al secondo condotto di un gas contenente un combustibile, per esempio metano o gas naturale, e di un gas contenente ossigeno al terzo condotto, se presente.

Sono anche contemplati metodi di introduzione di gas in un forno di fusione con alimentazione dei gas in modo differente, come sarà descritto in seguito, sia per il riscaldamento del materiale metallico, sia per la sua decarburazione o carburazione.

Come visto, il dispositivo risolve i problemi tipici della tecnica nota, avendo la possibilità di lavorare in modalità bruciatore durante la fase di fusione, realizzando una fiamma molto ampia nella fase iniziale del processo e una fiamma concentrata nelle fase conclusiva della fusione, e successivamente di lavorare in modalità di iniettore di ossigeno supersonico o di carbone o di calce nella fase di affinazione del bagno liquido.

Il passaggio tra queste diverse fasi e modalità di iniezione e combustione avviene semplicemente regolando le portate nei vari ugelli dell'iniettore.

Viene ora fornito, a titolo di esempio, un possibile schema di svolgimento di un processo di fusione di rottame ferroso in un forno ad arco elettrico che si avvale di un iniettore-bruciatore, avente terzo condotto come sopra descritto, secondo la presente invenzione.

In figura 7 sono indicati i profili delle portate di combustibile e combu-

3601PTIT

Notarbartolo & Gervasi S.p.A.

rente nelle varie fasi dell'operazione. I profili sono indicativi e hanno un valore relativo. Non è possibile dare valori assoluti in generale di portata e tempo dato che essi dipendono in modo specifico dalla taglia del forno, dalla potenza d'arco installata e dal numero di caricamenti previsti (monocesta o a più ceste). La logica di utilizzo dell'iniettore-bruciatore rimane comunque la stessa in ogni caso.

step 1: accensione

Il momento di accensione del bruciatore avviene qualche decina di secondi in ritardo rispetto all'accensione dell'arco elettrico in modo tale da assicurare che siano state conseguite le condizioni di infiammabilità della miscela di comburente e combustibile. La portata di combustibile nel secondo condotto viene inizialmente impostata al 30%-50% della potenza nominale e viene mantenuto un rapporto di combustione leggermente riducente, con ossigeno alimentato nel terzo condotto (nel caso di O_2/CH_4 si adottano rapporti dell'ordine di 1.6-1.8, cioè il 20-40% al di sotto del rapporto stechiometrico). Ciò viene fatto allo scopo di avere una fiamma riscaldante ma non aggressiva nei confronti degli equipaggiamenti onde evitare danneggiamenti nei confronti di pannelli raffreddati o non, refrattari e dispositivi stessi. Dopo circa 30" operando in tale modo le portate dei gas del bruciatore, e, di conseguenza la potenza di quest'ultimo può essere elevata al 80% del valore nominale e si opera ad un rapporto di combustione quasi stechiometrico (nel caso di O_2/CH_4 si adottano rapporti dell'ordine di 1.9-2.0). In questo tempo il condotto centrale, munito di ugello convergente-divergente viene flussato mediante aria compressa o ossigeno. La portata viene tarata in modo tale



che la velocità di uscita di tale gas sia almeno dell'ordine di 80-120 m/s e la pressione di 0.4 – 0.8 bar. Nel caso ad esempio di un ugello da 3000 Nm³/h nominali, si possono introdurre, per esempio, 300-350 Nm³/h. Lo scopo primario dell'impiego di tale flussaggio è di evitare che ci siano otturazioni per lo splashing dell'acciaio. Tuttavia in questo caso si consegue anche una valenza energetica in quanto l'ossigeno contenuto nel gas di flussaggio coopera in questo caso alla fiamma migliorandone ulteriormente l'efficienza di combustione;

step 2: bruciatore in modalità fiamma larga

Una volta che il bruciatore è stato acceso ed il rottame si è riscaldato a 500-600°C, si può rapidamente pervenire alla piena potenza di fiamma in rapporto stechiometrico. Un leggero ritardo nell'innalzare la potenza sarà da osservarsi nel caso di impiego di carica molto pesante o impaccata (cioè costituita da pezzi molto grossi o comunque caratterizzata da una densità di mucchio molto alta). Si può applicare una potenza di fiamma fino a 2-4 volte rispetto a quella delle comuni applicazioni convenzionali. Le fiamme distinte che costituiscono l'effetto globale del bruciatore sono distribuite su di un'area maggiore di rottame, anche grazie alla variazione di forma dovuta alla variazione di portata come sopra discusso cosicché il flusso termico specifico rimane inalterato rispetto ad un'applicazione convenzionale, pur applicando una potenza termica totale di gran lunga superiore. Un'alta efficienza di combustione e una rapida miscelazione di combustibile e di comburente determinano proprietà limitate di ossidazione della fiamma. L'abbattimento e la fusione della carica nel caso in cui sia particolarmente pesante e impaccata possono es-



sere promossi dalla variazione del rapporto di combustione.

step 3: modalità bruciatore ibrida e modulazione del rapporto stechiometrico

La temperatura del rottame aumenta rapidamente di fronte alla fiamma e il rottame cala progressivamente a livello del bagno, riducendo in misura esponenziale l'efficienza della fiamma larga in termini di trasmissione del calore per diretto irraggiamento e convezione superficiale.

Si opera quindi una transizione progressiva dalla fiamma larga alla fiamma concentrata iniziando a trasferire una parte della portata di ossigeno dalla corona di fori esterna all'ugello centrale.

Aumentando inoltre il rapporto di combustione, il progressivo incremento dell'ossigeno libero può permettere una fusione ancora più rapida del rottame. In questo caso tuttavia va localmente iniettato anche carbone; l'ossido di ferro prodotto durante questa fase gocciola verso il basso e si raccoglie nel tino proprio alla base dell'iniettore. La velocità con cui si produce l'ossido di ferro in questa fase aumenta rapidamente, richiedendo di conseguenza l'aggiunta di carbone e di calce per proteggere il refrattario rispetto all'erosione chimica e per moderare la reazione di ossidazione del ferro.

step 4: modalità bruciatore a fiamma concentrata

Una volta che la carica è stata fusa dalle pareti e si trova ormai al livello del bagno liquido, la transizione alla modalità bruciatore a fiamma concentrata deve essere completata. Il successivo obiettivo è infatti quello di fondere la quantità di rottame che si trova lontano dalla testa dell'iniettore, verso il centro del forno. È molto pericoloso colpire tale

rottame con un getto di ossigeno concentrato e veloce in quanto produrrebbe schizzi di ossido di ferro o addirittura il getto stesso di ossigeno può essere riflesso indietro verso i pannelli di refrattario. Non è quindi ancora possibile in questa fase operare l'iniezione di ossigeno supersonico per ossitagliare il rottame residuo presente al livello del bagno. Vi è invece la necessità di impiegare in questa fase una fiamma lunga e concentrata ma che non abbia una eccessiva quantità di moto. Nella modalità bruciatore a fiamma concentrata l'iniettore-bruciatore della presente invenzione risponde a questa caratteristica ed ha un'azione termica e chimica molto direzionale che riesce a trasferire calore alla carica presente al di sotto del suo livello di installazione. Gestendo il rapporto stechiometrico è inoltre possibile esercitare un'azione ossidante nei confronti della carica residua per accelerare il raggiungimento della completa fusione.

Nel corso dell'utilizzo dell'iniettore in modalità fiamma concentrata iniziano ad aversi le prime reazioni di decarburazione e di ossidazione in generale. Sia il flusso di ossigeno effluente dall'ugello centrale che l'aria o l'ossigeno di flussaggio permettono la post-combustione del CO formatosi. La transizione in questo passo di procedimento è cruciale per preparare il passo finale in modo efficiente.

step 5: affinazione

Il passo finale è orientato ad accelerare tutte le reazioni di ossidazione del bagno di acciaio liquido ed in particolare la reazione di decarburazione. In tal caso si applica dall'ugello centrale convergente-divergente la portata nominale. Durante questa fase il parametro più importante da



controllare è costituito dall'efficienza del getto, in quanto è necessario ottenere un'alta velocità di reazione, miscelazione per trasporto di massa, basse concentrazioni di ossigeno nella scoria ed un'elevata decarburazione dall'interno del bagno per ottenere i migliori risultati operativi.

Durante la fase di affinazione, l'iniezione di ossigeno supersonico può essere accompagnata dall'iniezione di metano attraverso la corona di fori interna, dato che l'effetto di avvitamento di quest'ultimo attorno al getto di ossigeno e la sua combustione con l'ossigeno iniettato dall'ugello centrale o eventualmente dalla corona di fori esterna promuove la coerenza e azione penetrante del getto supersonico nel bagno.

L'iniezione di metano a portata più elevata può essere operata anche per ottenere un effetto di carburazione e riduzione in accordo con la "modalità ibrida di iniezione ossigeno – carburazione – riduzione e post-combustione" già descritta.


In taluni casi l'iniezione di ossigeno attraverso l'ugello centrale può essere sostituita per brevi tratti dall'iniezione di metano attraverso l'ugello centrale, secondo la "modalità di pura carburazione". Questa pratica consente di ricarburare il bagno e di recuperare resa metallica grazie all'effetto locale riducente dei prodotti in cui crackizza il metano.

In figura 7 è rappresentata schematicamente la successione delle modalità di funzionamento dell'iniettore nell'arco del processo fusorio, relativamente all'esempio di procedimento appena descritto. La portata di ossigeno #1 è quella iniettata dall'ugello centrale convergente-divergente mentre la portata di ossigeno #2 è quella iniettata dalla corona di fori esterna. La portata di metano si riferisce alla corona di fori interna.



Si riconoscono le due modalità a fiamma larga e fiamma concentrata utilizzate in successione ed intervallate da una fase ibrida in cui viene realizzata una fiamma morfologicamente intermedia. Alla fine del processo viene realizzata l'iniezione di ossigeno supersonico per la decarburazione del bagno. Questa fase è distinguibile in due diverse modalità, la prima con iniezione di metano attorno al getto di ossigeno (per incrementare la coerenza del getto ed eventualmente dare un effetto di carburazione superficiale al bagno), la seconda con l'iniezione di solo ossigeno supersonico.

I profili rappresentati sono del tutto generali e si applicano come principio per qualunque tipo di caricamento del forno (monocesta o a più ceste) e si riferiscono ad un iniettore utilizzante metano e ossigeno come combustibile e comburente rispettivamente.



RIVENDICAZIONI

1. Iniettore-bruciatore comprendente un corpo cilindrico (3) avente un primo asse (6); longitudinale, detto corpo cilindrico avente un primo condotto centrale (8) disposto lungo detto asse ed almeno un secondo condotto (10) anulare disposto intorno a detto condotto (8) centrale ed una testina (2), fissata ad una estremità di detto corpo e provvista di almeno un primo foro (7) passante che mette in comunicazione detto primo condotto centrale con l'esterno, detto primo foro avente superficie laterale che circonda l'asse di detto corpo cilindrico e di secondi fori (5) passanti che mettono in comunicazione detto secondo condotto con l'esterno, detti secondi fori aventi ciascuno un proprio asse formante un primo angolo con un piano passante per detto primo asse e per il punto di intersezione dell'asse del foro con la superficie esterna della ed avente proiezione su detto piano la quale forma un secondo angolo con detto primo asse del corpo cilindrico.
2. Iniettore-bruciatore secondo la rivendicazione 1 in cui detti primi e secondi angoli sono compresi fra 5 e 60°.
3. Iniettore-bruciatore secondo qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detto primo foro è coassiale con detto corpo cilindrico.
4. Iniettore-bruciatore secondo qualsiasi delle rivendicazioni precedenti in cui è presente un terzo condotto (9), anulare, disposto intorno a detto secondo condotto e la testina presenta terzi fori (5') che mettono in comunicazione detto terzo condotto con l'esterno.
5. Iniettore-bruciatore secondo la rivendicazione 4 in cui detti terzi fori



hanno ciascuno un proprio asse formante un primo angolo con un piano passante per detto primo asse (6) e per il punto di intersezione dell'asse del foro con la superficie esterna della testina, ed avente proiezione su detto piano la quale forma un secondo angolo con detto primo asse del corpo cilindrico.

6. Iniettore-bruciatore secondo la rivendicazione 5 in cui detti primi e secondi angoli formati dagli assi di detti terzi fori sono compresi fra 5 e 60°.
7. Iniettore-bruciatore secondo la rivendicazione 5 o 6 in cui gli assi dei secondi e terzi fori, a due a due si incrociano all'esterno del bruciatore.
8. Iniettore-bruciatore secondo qualsiasi rivendicazione da 5 a 7, in cui i secondi ed i terzi fori sono distribuiti su due corone circolari concentriche con l'asse (6) del corpo cilindrico.
9. Iniettore-bruciatore secondo qualsiasi rivendicazione da 5 a 8, in cui i secondi ed i terzi fori sono divisi in più gruppi intervallati da settori circolari della testina privi di fori, detti settori essendo individuati tra due lati di un angolo avente vertice all'intersezione tra asse del corpo cilindrico e superficie esterna della testina maggiore dell'angolo avente per lati le rette passanti per detta intersezione ed i centri di due secondi fori adiacenti.
10. Iniettore-bruciatore secondo qualsiasi rivendicazione precedente in cui detto primo condotto, o il corrispondente primo foro, presenta un tratto (15, 15') sagomato ad ugello convergente o convergente-divergente.



11. Iniettore-bruciatore secondo la rivendicazione 10 in cui detto primo condotto, o il corrispondente primo foro, presenta un tratto (15, 15') sagomato ad ugello convergente-divergente tale da consentire attraverso di esso un efflusso di gas supersonico, con variazione della pressione del gas lungo la lunghezza di detto tratto secondo una funzione tangente iperbolica.
12. Iniettore-bruciatore secondo qualsiasi rivendicazione precedente in cui è presente un ulteriore quarto condotto (16), interno al primo condotto, opzionalmente coassiale con esso, per alimentare componenti solidi o liquidi, dispersi in un gas.
13. Iniettore-bruciatore secondo qualsiasi rivendicazione precedente in cui i secondi e/o i terzi fori sono sagomati a ugello convergente o convergente-divergente.
14. Metodo di introduzione di uno o più gas in un forno di fusione per materiale metallico in cui detti gas sono introdotti attraverso un iniettore-bruciatore secondo qualsiasi delle rivendicazioni precedenti.
15. Metodo secondo la rivendicazione 14 in cui detti gas sono introdotti attraverso un iniettore-bruciatore secondo la rivendicazione 4.
16. Metodo secondo la rivendicazione 14 o 15, comprendente l'alimentazione, al primo condotto di detto iniettore-bruciatore di un gas contenente ossigeno, al secondo o terzo condotto di un gas contenente un combustibile, in modo da generare una fiamma.
17. Metodo secondo la rivendicazione 16 in cui l'efflusso del gas contenente ossigeno dal primo foro di detto iniettore-bruciatore è supersonico.



18. Metodo secondo la rivendicazione 16 o 17 in cui parte di detto combustibile raggiunge incombusto un bagno metallico fuso contenuto nel forno.
19. Metodo secondo la rivendicazione 15 comprendente l'alimentazione, al terzo condotto di detto iniettore-bruciatore di un gas contenente ossigeno.
20. Metodo secondo la rivendicazione 19 comprendente l'alimentazione di un gas contenete combustibile al secondo condotto di detto iniettore-bruciatore.
21. Metodo secondo la rivendicazione 15, comprendente l'alimentazione, al terzo condotto di detto iniettore-bruciatore di un gas contenente un combustibile, al secondo condotto di un gas contenente ossigeno.
22. Metodo secondo la rivendicazione 14 o 15 comprendente l'alimentazione dal primo condotto dell'iniettore bruciatore di un gas contenete ossigeno.
23. Metodo secondo la rivendicazione 22 in cui l'efflusso di gas dal primo foro dell'iniettore-bruciatore è supersonico.
24. Metodo secondo la rivendicazione 23 in cui la lunghezza coerente del getto di gas da detto primo foro è superiore alla distanza della testina dell'iniettore bruciatore dalla superficie di un bagno metallico fuso contenuto nel forno.
25. Metodo secondo la rivendicazione 14 o 15 in cui un solido in forma di polvere o di granuli è introdotto attraverso il primo condotto dell'iniettore-bruciatore.
26. Metodo secondo la rivendicazione 25 in cui il solido è introdotto in-

3601PTIT

Notarbartolo & Gervasi S.p.A.

sieme ad una corrente di gas il cui efflusso dal primo foro dell'iniettore bruciatore è subsonico.

27. Metodo secondo la rivendicazione 14 o 15 in cui un solido in forma di polvere o di granuli è introdotto attraverso il quarto condotto di un iniettore-bruciatore secondo la rivendicazione 12.

28. Metodo secondo la rivendicazione 14 o 15, comprendente l'alimentazione al primo condotto di detto iniettore-bruciatore di un gas comprendente un combustibile in regime subsonico o supersonico.

29. Metodo secondo la rivendicazione 28 in cui parte di detto combustibile raggiunge incombusto la superficie di un bagno metallico fuso contenuto nel forno.

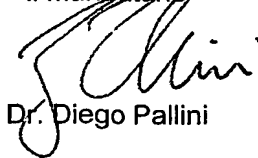
30. Metodo secondo qualsiasi rivendicazione da 14 a 29 in cui detto iniettore-bruciatore è montato su una lancia provvista di manipolatore.

(CIA/lm)

Milano, li 11 luglio 2002

p. DANIELI & C. OFFICINE MECCANICHE S.p.A.

il Mandatario



Dr. Diego Pallini

NOTARBARTOLO & GERVASI S.p.A.



NOTARBARTOLO & GERVASI S.p.A.

Thin

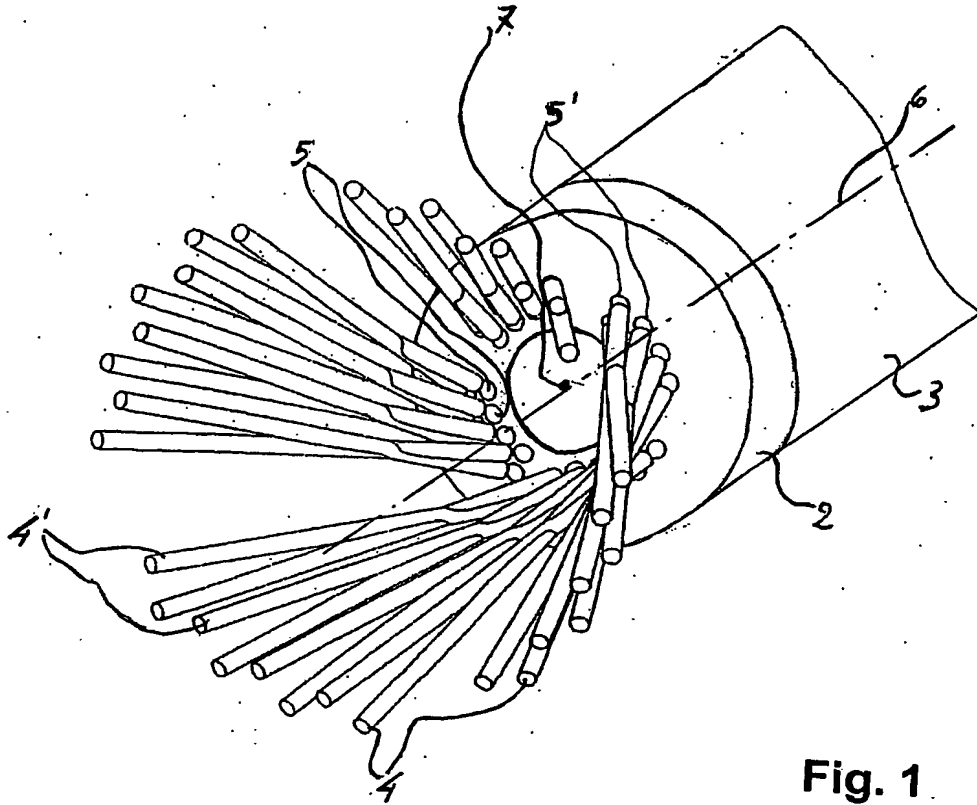


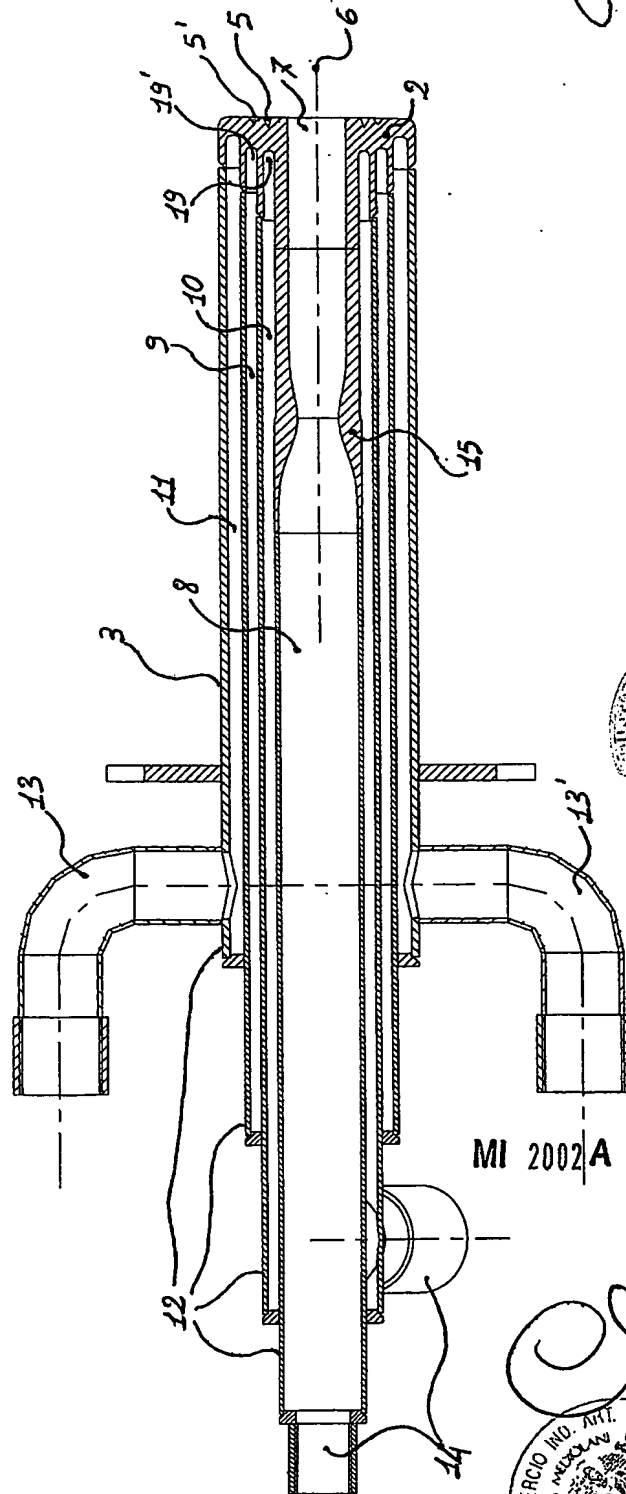
Fig. 1

MI 2002A 001526



[Handwritten signature]

Fig. 2

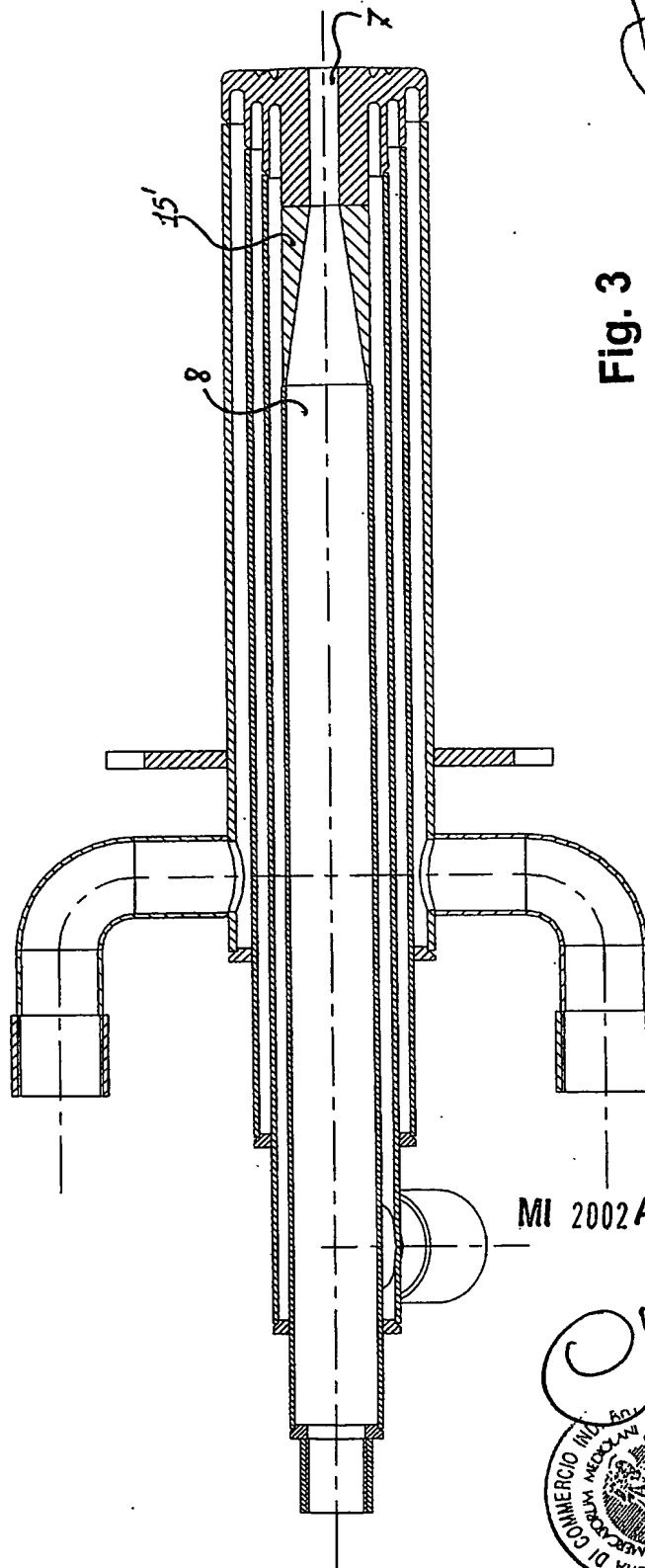


MI 2002 A 0 0 1 5 2 6

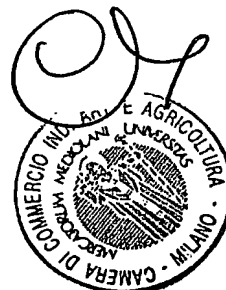


NOTARBARTOLO & GERVASI S.p.A.

Fig. 3



MI 2002A 001526



NOTARBARTOLO & GERVASI S.p.A.

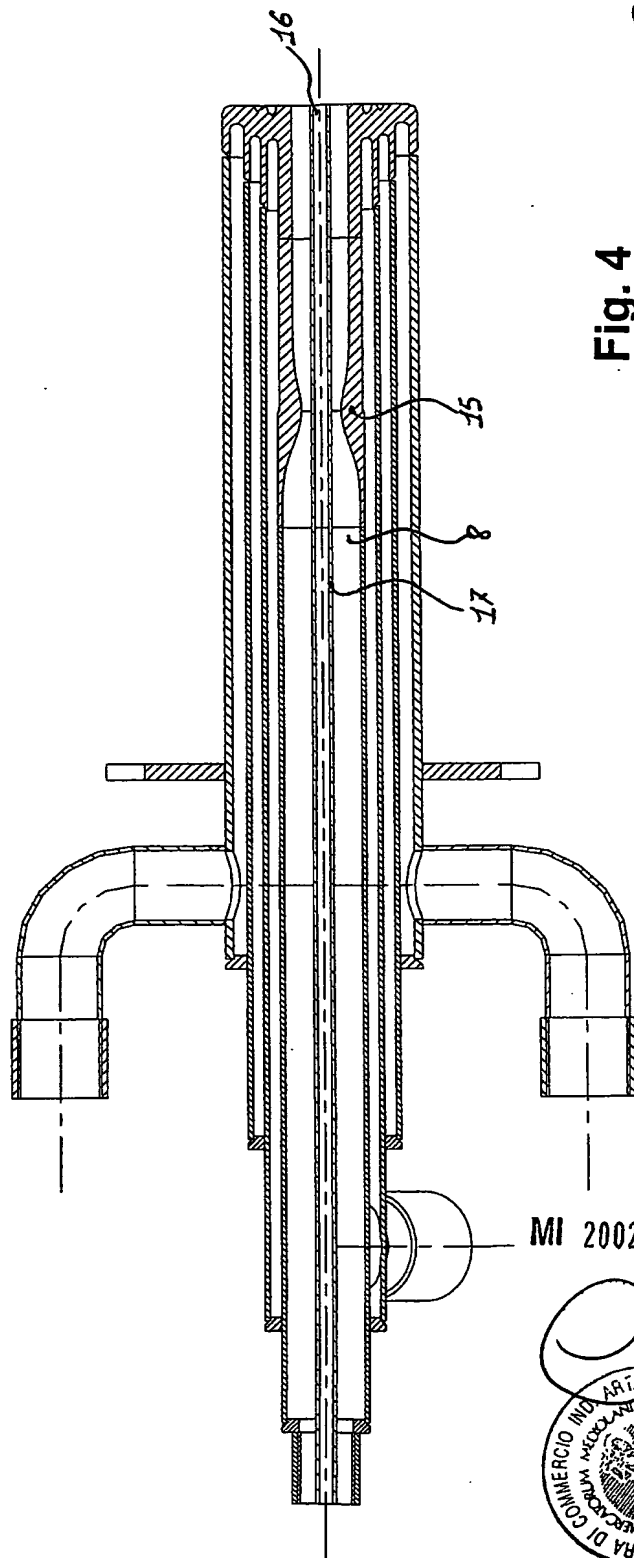
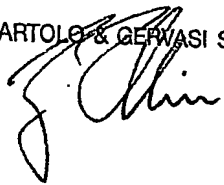


Fig. 4

MI 2002A 001526



NOTARBARTOLO & GERVASI S.p.A.

[Handwritten signature]

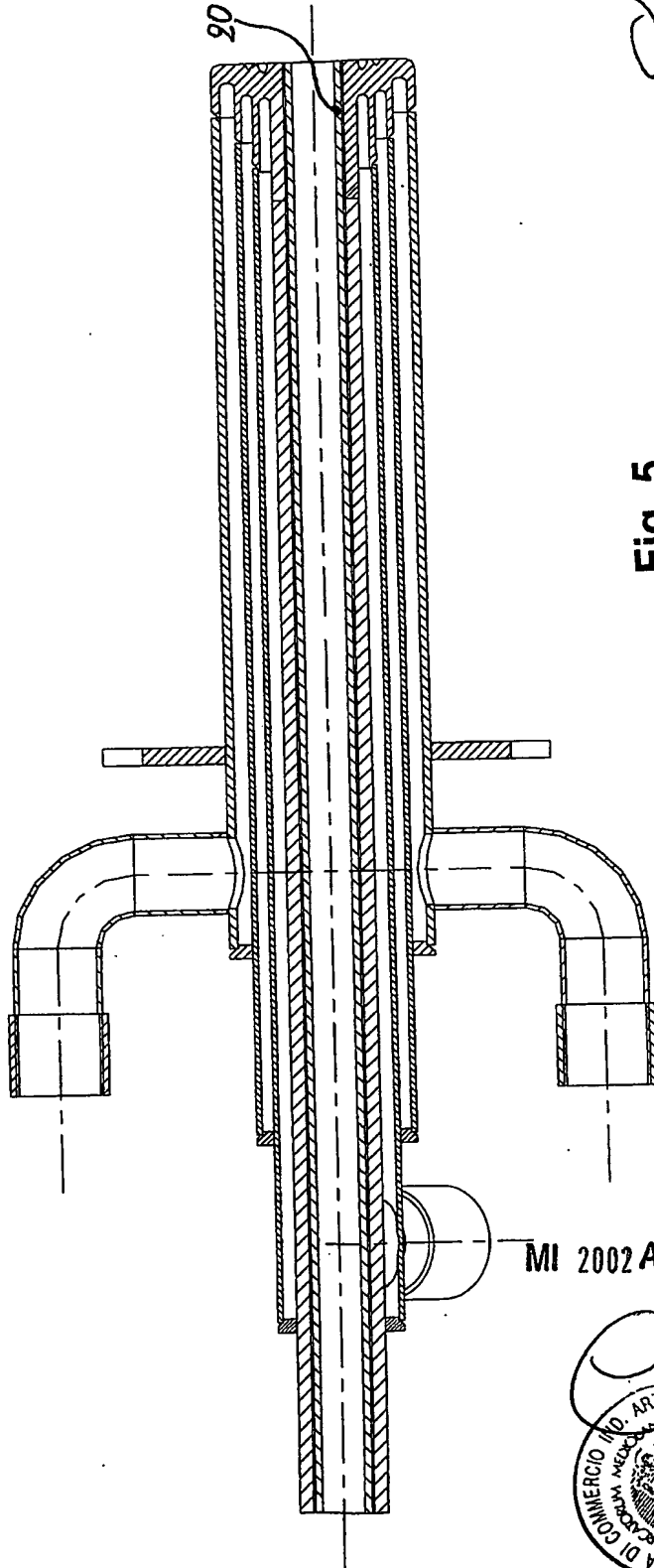


Fig. 5

MI 2002A 0 01526



[Handwritten signature]

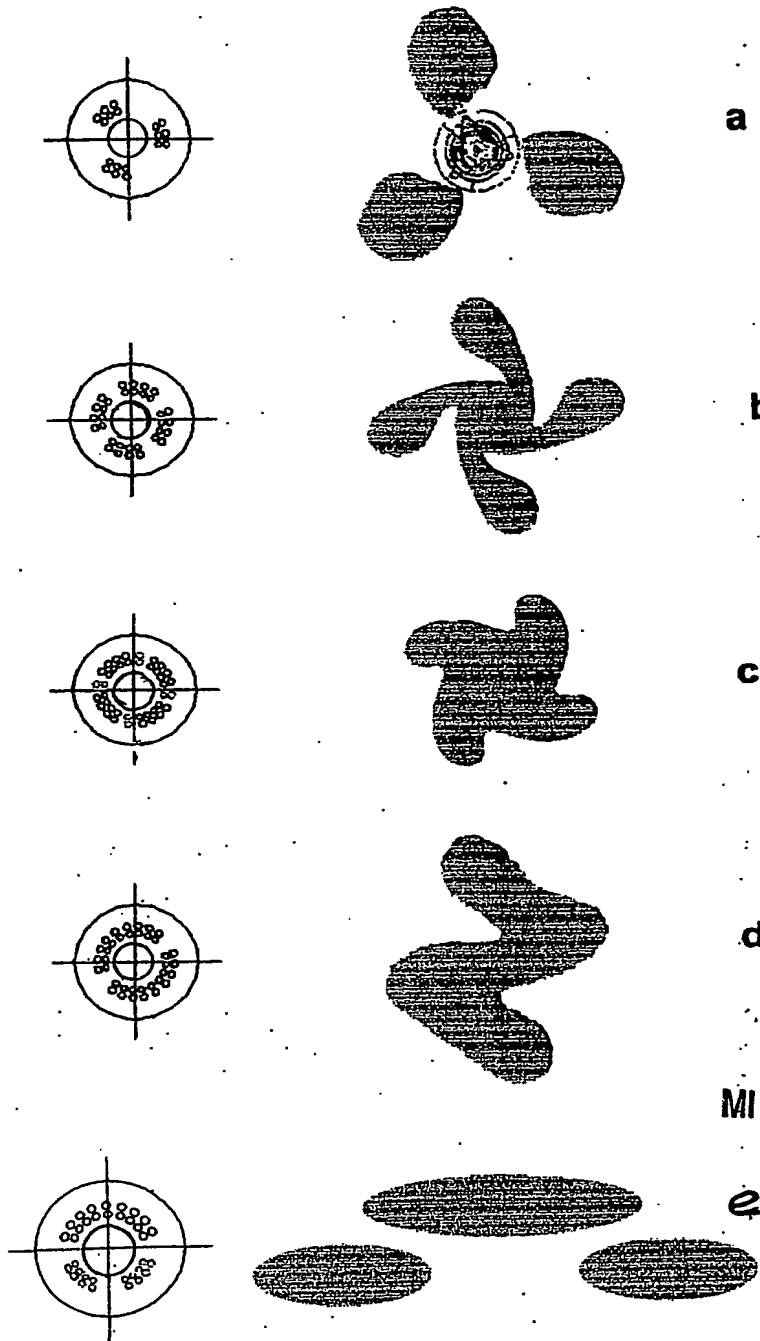
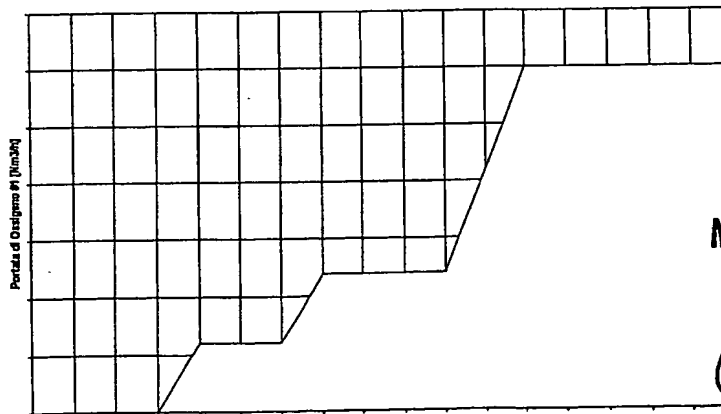
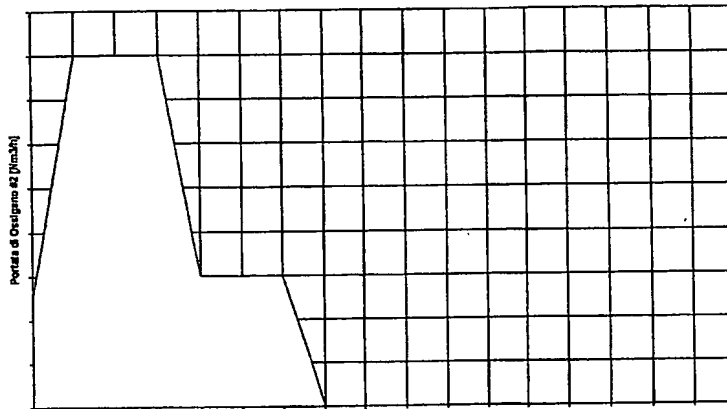
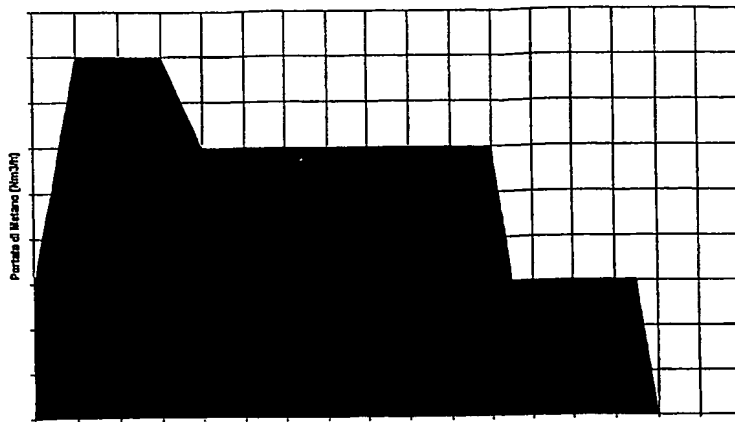


Fig. 6



MI 2002 A 0 0 1 5 2 6





ACCENSIONE
MODALITA' FIAMMA LARGA
FIAMMA IBRIDA
MODALITA' FIAMMA CONCENTRATA
FIAMMA CONCENTRATA OSSIDANTE SOVRASTECHIMETRICA
INIEZIONE OSSIGENO SUPERSONICO

MI 2002A 001526

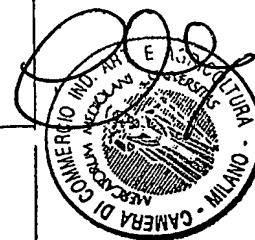


Fig. 7

[Handwritten signature]

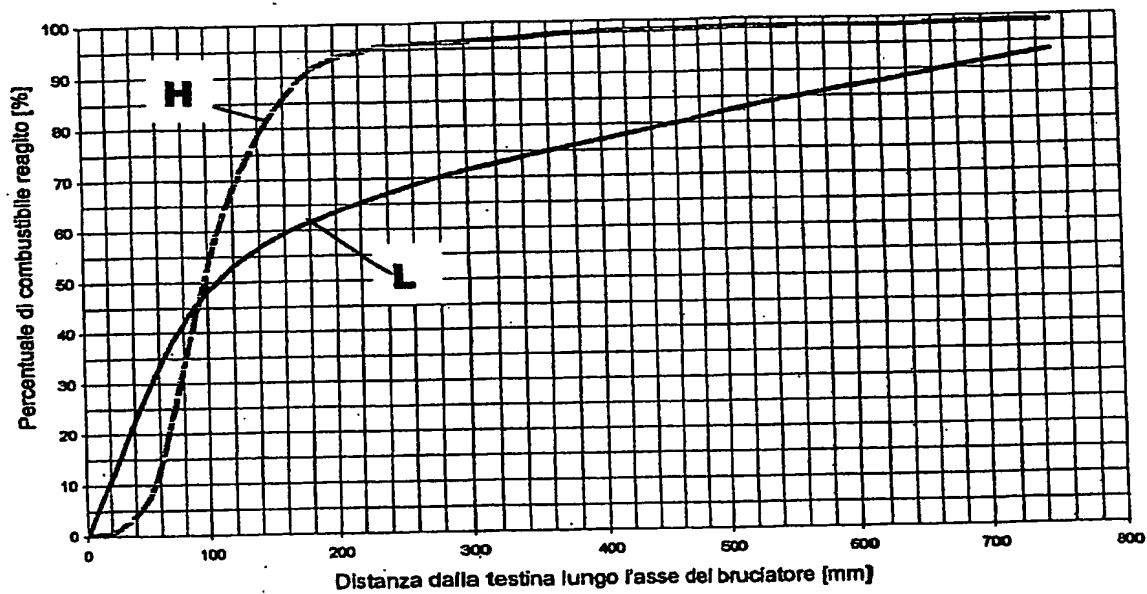


Fig. 8

MI 2002 A 0 0 1 5 2 6



NOTARBARTOLO & GERVASI S.p.A.

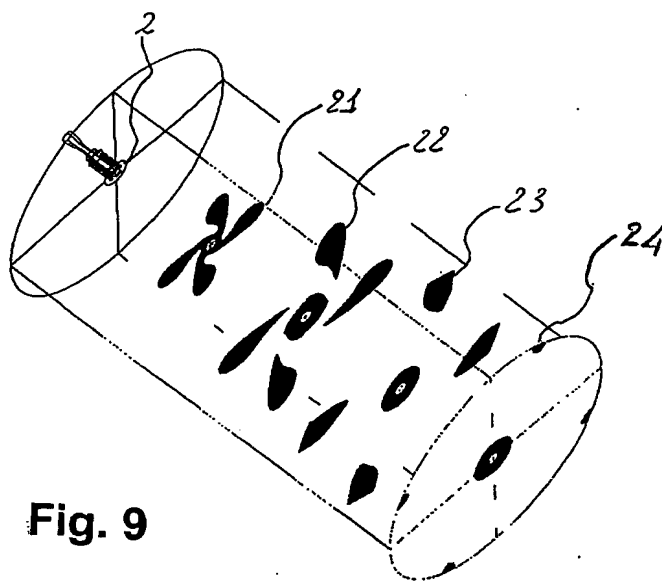


Fig. 9

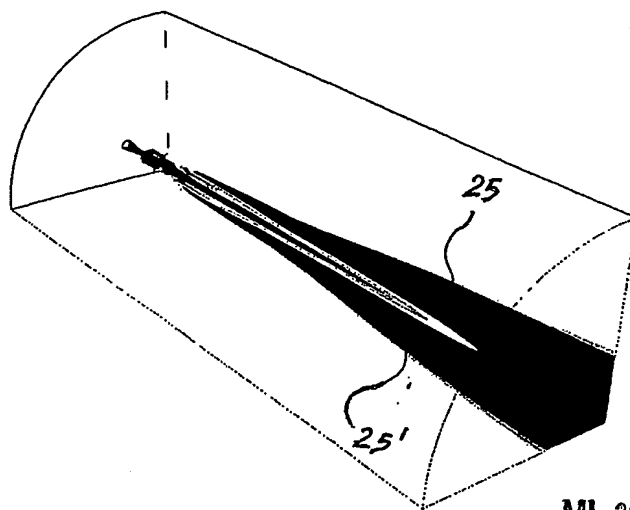
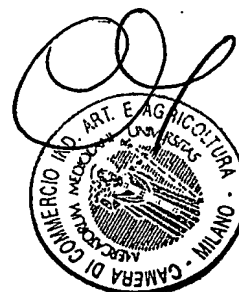


Fig. 10

MI 2002A 0 0.1526



BEST AVAILABLE COPY